단일 인버터를 이용한 표면부착형 영구자석 동기전동기 병렬 구동 시스템의 센서리스 방법

이용재, 하정익
서울대학교, 전기정보공학부

Sensorless Drive for Mono Inverter Dual Parallel Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor Drive System

Yongjae Lee and Jung Ik Ha
Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문은 단일 인버터를 이용하여 두 개의 표면부착형 영구자석 동기 전동기를 위치, 속도 센서 없이 구동하는 방법을 소개한다. 기존에 두 개의 동기전동기를 병렬 구동하기 위해서는 위치센서를 반드시 필요로 하였다. 때문에 가격을 절감할 수 있다는 단일 인버터를 이용한 병렬 전동기 구동 시스템의 장점이 퇴색되었다. 본 논문에서는 단일 인버터를 이용한 병렬 전동기 구동 시스템의 센서리스 구동을 위한 새로운 구동 방법 및 제어 전략을 소개하고 실험을 통해 이를 검증하였다.

1. 서 론

영구자석 동기 전동기는 높은 효율과 전력 밀도를 가지기 때문에 많은 부분의 산업분야에서 사용되지만 회전자의 위치에 따라 전압을 인가해야하기 때문에 전력 변환 회로를 필수적으로 필요로 한다. 유도기의 경우 유도되는 전류와 슬립에 의해 주파수가 맞지 않더라도 구동이 가능하며, 계통과 같은 고정 주파수를 가진 전원에 의해서도 구동이 가능하다. 이러한 이유로 하나의 인버터로 여러 개의 유도기를 구동하는 시스템은 별다른 제어 없이도 구동이 가능하다. 때문에 단일 인버터를 이용한 병렬 유도기 구동의 제어 방법에 대한 연구는 활발하게 진행되었다.[1] 하지만 동기 전동기는 회전자와 동기된 속도 및 위치에서 구동되어야하기 때문에 두 회전자의 위치를 동기화시켜야만 안정적인 구동이 가능하다. 그렇지 못하는 경우 두 전동기는 탈조하게되고 정상적인 구동을 할 수 없게 된다. 때문에 위치 및 속도 정보를 기반으로 두 전동기를 동기화하는 방법이 연구되었다.[2]

[2]에서 제안된 방법은 기존의 다른 방법들과는 달리 위치 센서 없이도 전동기를 구동할 수 있다는 구조적인 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 [2]에서 사용된 제어 방법을 이용하여 병렬 연결된 두 개의 표면 부착형 동기 전동기를 하나의 인버터로 센서리스 제어하는 방법을 연구하고, 실험을 통해 성능 및 효용성을 검증해보았다

2. 시스템 구성

본 논문에서 사용한 단일 인버터를 이용한 표면부착형 영구자석 동기 전동기 병렬 구동 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 위와 같은 구조는 기존에 산업계에서 널리 사용되는 3상형 스위치 모듈이나 지능형 전력 모듈(IPM)을 사용할 수 있다는 점에서 시스템 구성이 간편하며, 시스템 가격도 크게 절감할 수 있다. 그림 1의 시스템은 4개의 전류 센서를 포함하고 있지만 두 개의 전류 센서는 DC 링크단 저항이나 인버터 레그 저항을 활용한 전류 센싱 방식으로 절감할 수 있다.

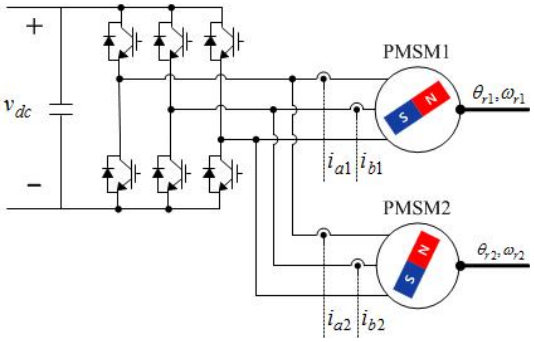

그림 1 단일 인버터 병렬 전동기 구동 시스템의 구조
Fig. 1 Configuration of mono inverter dual parallel PMSM drive system

3. 센서리스 방법 및 구동 전략

3.1 센서리스 방법

본 논문에서는 역기전력 기반 센서리스를 통해 병렬 전동기의 위치 센서를 제거하고자 하였다. 기존의 제어 방법들과 달리 제안된 구조에서는 각 전동기에 흐르는 전류를 파악할 수 있으며, 전동기에 인가되는 전압도 알 수 있기 때문에 기존에 사용되던 역기전력 기반 센서리스 방법을 쉽게 이용할 수 있다.[3] [3]에서 사용된 역기전력 추정 방법은 축소 차원 관측기(Reduced order observer)를 사용하기 때문에 연산시간을 최소화 할 수 있다. 이는 두 전동기의 속도 및 위치를 추정해야하기 때문에 많아질 수 있는 연산량을 조금이라도 줄이는데 도움이 된다.

그림 2는 센서리스 추정기를 포함하는 본 시스템의 제어 블록도를 나타낸다. 전동기의 병렬 운전 시스템을 안정시키기 위해서 능동 댐핑 제어가 수행되는데, 능동 댐핑 제어가 각과 속도를 기반으로 이루어지기 때문에 각과 속도 정보를 정확하게 얻는 것이 무척이나 중요하다. 특히나 두 전동기 사이에 발생하는 공진 주파수 대역에 지연이 발생하는 경우, 능동 댐핑이 제대로 이루어지지 않아 제어 성능이 떨어지게 되며 심각한 경우 전동기가 발산할 수도 있다.

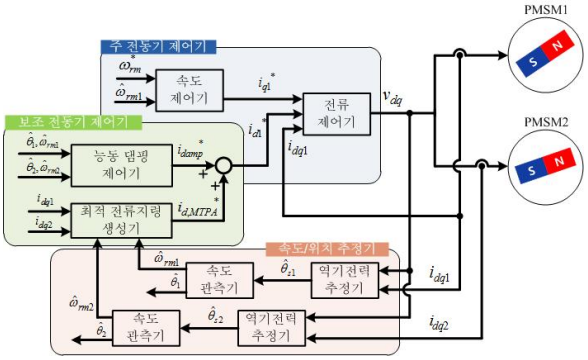

그림 2 센서리스를 포함한 병렬 전동기 구동 제어 블록도
Fig. 2 Control block diagram for MIDP PMSM drive system including sensorless algorithm

3.2 속도별 구동 전략

역기전력기반 센서리스 방법은 중속 및 고속에서는 만족할 만한 추종성능을 얻을 수 있으나 저속 및 영속 구간에서는 역기전력의 크기가 작아 추종 성능이 떨어지게 된다. 따라서 저속 구간에서의 구동 및 기동을 위한 구동 전략을 필요로 하게 된다. 그림 3은 속도별 구동 전략을 보여준다. 본 논문에서는 저속 구동 및 기동을 위해 고정자에 임의의 전류를 흘려 구동하는 방법을 사용하였다. 충분한 역기전력이 확보되면 센서리스 구동으로 절환하여 속도제어를 수행하는 방법을 사용하였다.

4. 실험 결과

제안된 제어 방법 및 알고리듬의 성능을 평가하기 위해 두 개의 600W급 표면부착형 동기전동기를 구동하여 알고리즘의 성능을 평가하였다.

그림 3은 영속에서부터 200r/min까지 기동하고 다시 속도를 낮추어 정지하기까지의 속도 지령과 주 전동기의 속도, d축 전류 및 추정 오차를 나타낸다. 구동 방법의 절환 시에 속도 제어기의 기동 및 전류 지령 변화로 인해 속도의 맥동이 살짝 발생하지만 빠르게 지령을 추종하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4와 그림 5는 정격속도(1200r/min)에서 80%의 부하를 두 전동기에 인가한 상태에서 주전동기와 부하전동기에 20%의 부하를 스텝으로 가감하고 그 반응을 살펴본 결과이다. 부하를 급작스러운 변동에도 두 전동기가 동기성을 잃지 않고 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 속도 맥동에 따라 능동 댐핑 제어가 수행되어 보조 전동기의 q축 전류가 제어되는 것을 확인할 수 있다.

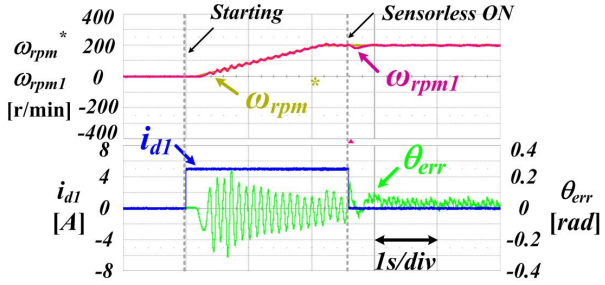

그림 3 기동 및 구동 방법 절환 실험 결과
Fig. 3 Experimental result for starting and transition

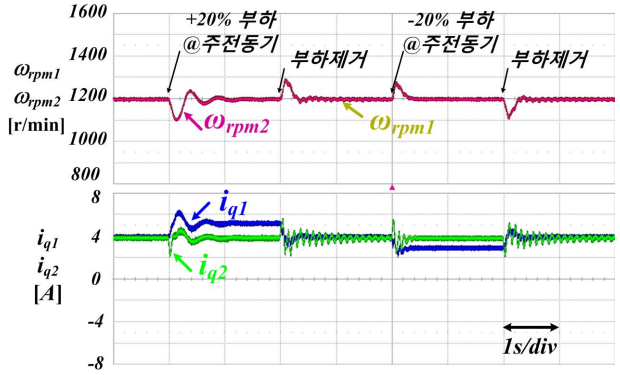

그림 4 주전동기 스텝 부하 변동 실험
Fig. 4 Master motor step loading test

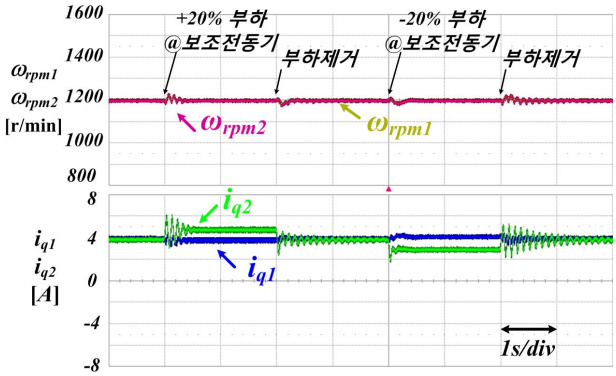

그림 5 보조전동기 스텝 부하 변동 실험
Fig. 5 Slave motor step loading test

5. 결 론

본 논문은 전동기 병렬 구동 시스템의 가격 절감 및 신뢰성 향상을 위한 센서리스 구동 방법에 대해 연구하였다. 축소 차원 관측기를 사용하여 연산량을 최소화하기위해 노력하였다. 또한 저속 및 영속에서의 구동을 위해 제어전략을 수립하고 기동을 실험하였다. 실험을 통해 기동 및 스텝 부하 반응 성능을 확인하였다.

이 논문은 삼성전자 DMC연구소의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] P.M. Kelecy and R.D. Lorenz, “Control methodology for single inverter, parallel connected dual induction motor drives for electric vehicles,” in *Proc. IEEE Power Election Spec. Conf.*, 1994, vol. 2, pp. 987 991.

[2] Y. Lee and J. I. Ha, “Minimization of stator currents for mono inverter dual parallel PMSM drive system,” in *Proc. Int. Power Electron. Conf.*, 2014, pp. 3140 3144.

[3] J. S. Kim and S. K. Sul, “High performance PMSM drives without rotational position sensors using reduced order observer,” in *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting*, Orlando, FL, 1995, pp. 75 82.